

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-270928

(P2002-270928A)

(43) 公開日 平成14年9月20日 (2002.9.20)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テームト [*] (参考)
H 0 1 S 3/094		G 0 2 B 6/10	C 2 H 0 5 0
G 0 2 B 6/10		6/22	5 F 0 7 2
6/22		H 0 1 S 3/06	B
H 0 1 S 3/06		3/10	Z
3/10		3/094	S
審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 9 頁)			

(21) 出願番号 特願2001-64838(P2001-64838)

(22) 出願日 平成13年3月8日 (2001.3.8)

(71) 出願人 000003263

三菱電線工業株式会社

兵庫県尼崎市東向島西之町8番地

(72) 発明者 ▲吉▼田 実

兵庫県伊丹市池尻4丁目3番地 三菱電線
工業株式会社伊丹製作所内

(72) 発明者 中川 伸一

兵庫県伊丹市池尻4丁目3番地 三菱電線
工業株式会社伊丹製作所内

(74) 代理人 100077931

弁理士 前田 弘 (外7名)

Fターム(参考) 2H050 AB04Y AB10Y AB18X AC28

AC36 AC83

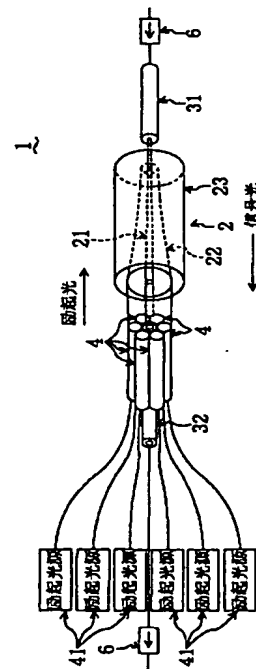
5F072 AB09 AK06 JJ02 JJ04 PP07

(54) 【発明の名称】 光励起方法、光増幅装置及びファイバレーザ装置、並びに光ファイバ

(57) 【要約】

【課題】 高出力化が実現する光励起方法、光増幅装置及びファイバレーザ装置を提供すると共に、該方法及び装置に最適な光ファイバを提供する。

【解決手段】 信号光が伝搬するコア21と、励起光が伝搬する第1クラッド(第1コア)22とを備えたダブルクラッドファイバ2において、コア21及び第1クラッド22を第1端から第2端に向かって先細に形成する。励起光を第1クラッド22の大径側から入射させる一方、信号光をコア21の小径側から入射させる。



1

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 希土類元素がドープされた第 1 コアと、該第 1 コアの周囲を覆いかつ上記希土類元素を励起する励起光が伝搬する第 2 コアとを有する光ファイバを用いた光励起方法であって、

上記光ファイバとして、上記第 2 コアがファイバ長手方向の第 1 端から第 2 端に向かって先細に形成されたものを用い、

上記励起光を、上記第 2 コアの大径側である上記光ファイバにおける第 1 端側の端面から該第 2 コア内に入射させることを特徴とする光励起方法。

【請求項 2】 請求項 1 において、光ファイバとして、第 1 コアがファイバ長手方向の第 1 端から第 2 端に向かって先細に形成されたものを用い、希土類元素の励起によって増幅される信号光を、上記第 1 コアの径側である上記光ファイバにおける第 2 端側の端面から該第 1 コア内に入射させることを特徴とする光励起方法。

【請求項 3】 希土類元素がドープされた第 1 コアと、該第 1 コアの周囲を覆いかつ上記希土類元素を励起する励起光が伝搬する第 2 コアとを有する光ファイバを備え、上記希土類元素の励起によって上記第 1 コア内を伝搬する信号光を増幅させる光増幅装置であって、上記光ファイバの第 2 コアは、ファイバ長手方向の第 1 端から第 2 端に向かって先細に形成され、上記励起光が上記第 2 コアの大径側である上記光ファイバにおける第 1 端側の端面から上記第 2 コア内に入射されるように構成されていることを特徴とする光増幅装置。

【請求項 4】 請求項 3 において、光ファイバに接続されて信号光を伝送する信号光用ファイバと、複数の励起光源のそれぞれに接続されかつ該励起光源からの励起光をそれぞれ上記光ファイバまで伝送する複数の励起光用ファイバとを備え、上記信号光用ファイバの端面は、第 2 コアの大径側である上記光ファイバの第 1 端側の端面における第 1 コア部分に接続され、

上記複数の励起光用ファイバは、上記信号光用ファイバを中心として当該信号光用ファイバの外周囲を取り囲むようにそれぞれ配設されていると共に、その端面は、上記光ファイバの第 1 端側の端面における第 2 コア部分にそれぞれ接続されていることを特徴とする光増幅装置。

【請求項 5】 請求項 3 又は請求項 4 において、光ファイバの第 1 コアは、ファイバ長手方向の第 1 端から第 2 端に向かって先細に形成され、信号光が上記第 1 コアの径側である上記光ファイバにおける第 2 端側の端面から上記第 1 コア内に入射されるように構成されていることを特徴とする光増幅装置。

【請求項 6】 請求項 5 において、

2

光ファイバにおける第 2 端側の端面には、該光ファイバの第 1 コア内に信号光を入射させるための信号光入射用ファイバが融着されており、

上記信号光が上記信号光入射用ファイバを介して上記光ファイバにおける第 2 端側の端面から上記第 1 コア内に入射されるように構成されていることを特徴とする光増幅装置。

【請求項 7】 希土類元素がドープされた第 1 コアと、該第 1 コアの周囲を覆いかつ上記希土類元素を励起させる励起光が伝搬する第 2 コアとを有する光ファイバを備え、該光ファイバをレーザ媒質として上記光ファイバの端面からレーザ発振光を出射するファイバレーザ装置であって、

上記光ファイバの第 2 コアは、ファイバ長手方向の第 1 端から第 2 端に向かって先細に形成され、

上記励起光が上記第 2 コアの大径側である上記光ファイバにおける第 1 端側の端面から上記第 2 コア内に入射されるように構成されていることを特徴とするファイバレーザ装置。

【請求項 8】 希土類元素がドープされた第 1 コアと、該第 1 コアの周囲を覆いかつ上記希土類元素を励起させる励起光が伝搬する第 2 コアとを備えた光ファイバであって、

上記第 2 コアは、ファイバ長手方向の第 1 端から第 2 端に向かって先細に形成されていることを特徴とする光ファイバ。

【請求項 9】 請求項 8 において、第 1 コアは、ファイバ長手方向の第 1 端から第 2 端に向かって先細に形成されていることを特徴とする光ファイバ。

【請求項 10】 請求項 9 において、光ファイバの第 1 端側の端面における第 2 コアに対する第 1 コアの面積比と、該光ファイバの第 2 端側の端面における第 2 コアに対する第 1 コアの面積比とは、略同じに設定されていることを特徴とする光ファイバ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、希土類元素がドープされた第 1 コアと、該第 1 コアの周囲を覆い該希土類元素を励起する励起光が伝搬する第 2 コアとを有する光ファイバを用いた光励起方法、上記光ファイバを備えた光増幅装置及びファイバレーザ装置、並びに上記光ファイバに関する。

【0002】

【従来の技術】 従来より、光増幅装置やファイバレーザ装置等に用いる光ファイバとして、コアに例えば希土類元素をドープしたいわゆる希土類元素ドープファイバが知られている。例えば光増幅装置においては、励起光と信号光とを上記コア内に入射させることで、上記励起光によって希土類元素を反転分布状態にさせて、その誘導

3

放出によって上記信号光を増幅するようになっている。

【0003】また、希土類元素がドープされた第1コアと、この第1コアの周囲を覆う第2コア（第1クラッド）と、この第2コアの周囲を覆うクラッド（第2クラッド）からなるダブルクラッドファイバが知られており、このものでは、信号光を第1コア内で伝搬させる一方、励起光は第2コア内を伝搬させるようにされている。このダブルクラッドファイバを上記希土類元素ドープファイバの代わりに光増幅装置に用いると、第2コアの断面積が大きいことから、上記希土類元素ドープファイバよりも高い励起入力が可能になるため、上記光増幅装置を高出力化させることができる。また、上記ダブルクラッドファイバをファイバレーザ装置のレーザ媒質とした場合も、励起光入力が大きくなるためファイバレーザ装置が高出力化する。このように、上記光増幅装置又はファイバレーザ装置を高出力化させるには、ダブルクラッドファイバにおける第2コアへの励起入力を高めればよい。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】ところが、上記励起入力は、例えば励起光源からの励起光をレンズによって集光して上記ダブルクラッドファイバの端面に入射させることによって行われる。このため、上記第2コアの断面積の大きさで集光可能な励起光源の発光面積又はストライプ長が決定されてしまうため、励起入力は余り高くすることができないという不都合がある。また、レンズを用いた空間光学系では、励起光の光軸ずれが生じやすく、これにより励起入力が低下してしまうこともある。

【0005】一方、例えば空間光学系を用いてダブルクラッドファイバに励起入力を行う光増幅装置においては、信号光もレンズによって集光してダブルクラッドファイバの端面から第1コアに入射させるように構成される。このとき、特に上記信号光がシングルモードファイバのようなコア径の小さな領域が伝搬しているときには、励起光の大きな光出力による発熱等によって光軸の軸ずれが生じ易く、その結果、光増幅装置の出力が低下してしまうという不都合がある。

【0006】そこで、空間光学系を用いない光増幅装置として、例えば特開平8-304661号公報には、光サーキュレータを用いた光増幅装置が記載されている。このものでは、上記光サーキュレータにおける第1の端子に信号光を入力させると共に、第2の端子に励起光源とミラーとが接続されたダブルクラッドファイバを接続させる。そして、上記光サーキュレータの第3の端子からダブルクラッドファイバにおいて増幅された信号光を出力させるように構成されている。しかしながらこの場合、光サーキュレータを用いることによって損失が増大して出力の低下を招く虞がある。

【0007】また、これとは異なり、上記ダブルクラッドファイバ中間部のクラッド（第2クラッド）にプリズ

4

ム状の研磨加工を施して、このダブルクラッドファイバの中間部に励起光を入射可能にすることで、上記ダブルクラッドファイバの両端部に信号光を伝送するシングルモードファイバを融着可能にしたものが知られている

(L. Goldberg, J. Koplow, and D. Kliner, Optical Society America, OPTICS Lett. 10, Vol. 24 (1999))。しかしながら、上記第2クラッドにプリズム状の研磨を施すのは、極めて高度な加工技術を要するという不都合がある。

10 【0008】このように、ダブルクラッドファイバを用いた光増幅装置又はファイバレーザ装置の高出力化は、上記ダブルクラッドファイバへの励起入力を十分に高めることができなかつたり、信号光の光軸ずれが生じてしまつたりすること等の要因によって、その実現が極めて困難である。

【0009】本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、高出力化が実現する光励起方法、光増幅装置及びファイバレーザ装置を提供すると共に、該方法及び装置に最適な光ファイバを提供することにある。

20 【0010】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、請求項1記載の発明は、希土類元素がドープされた第1コアと、該第1コアの周囲を覆いかつ上記希土類元素を励起する励起光が伝搬する第2コアとを有する光ファイバを用いた光励起方法を対象とする。

【0011】そして、上記光ファイバとして、上記第2コアがファイバ長手方向の第1端から第2端に向かって先細に形成されたものを用い、上記励起光を、上記第2コアの大径側である上記光ファイバにおける第1端側の端面から該第2コア内に入射させることを特定事項とするものである。ここで、上記光ファイバには、第2コアの外周囲を覆うように、この第2コアよりも屈折率の低いクラッドを設けてもよい。

【0012】請求項1記載の発明によると、励起光を、光ファイバにおける第1端側の端面から該第2コア内に入射させることにより、第2コアが大径であることから、より大パワーの励起光を入射させることが可能になる。

40 【0013】また、上記光ファイバの第2コア内に入射された励起光は希土類元素を励起することで、この第2コア内をファイバ長手方向に伝搬するに従いそのパワーが次第に低下する。ところが、上記第2コアは、励起光の入射側である第1端からファイバ長手方向の第2端に向かって先細に形成されているため、上記励起光のパワー密度は次第に高まることになり、上記光ファイバの励起効率が向上する。

50 【0014】請求項2記載の発明は、上記請求項1記載の発明において、光ファイバとして、第1コアがファイバ長手方向の第1端から第2端に向かって先細に形成さ

5

れたものを用い、希土類元素の励起によって増幅される信号光を、上記第1コアの小径側である上記光ファイバにおける第2端側の端面から該第1コア内に入射させることを特定事項とするものである。

【0015】この請求項2記載の発明は、光増幅装置に好適であり、信号光を、励起光の入射側とは逆側の端面である光ファイバにおける第2端側の端面から該第1コア内に入射させるため、この信号光を、例えばこの光ファイバの第2端側の端面に融着等の方法により接続された信号光入射用ファイバを介して第1コア内に入射させることができる。これにより、光軸ずれを生じることなく安定して上記信号光を第1コアに入射させることが可能になる。

【0016】また、上記信号光は、第1コアが小径である光ファイバにおける第2端側の端面から入射されるため、この信号光は上記第1コアが小径から大径になるファイバ長手方向に伝搬することになる。このため、ファイバ長手方向に伝搬するに伴い次第に信号光は増幅されて、そのパワーが増大するが、第1コアの径(断面積)も信号光のパワーの増大に伴い大径化するため、光ファイバにおける非線形効果が抑制される。これにより、この非線形効果による制限を受けることなく、上記信号光を増幅することが可能になる。

【0017】さらに、第1コア及び第2コアが共にファイバ長手方向の第1端から第2端に向かって先細に形成されているため、光ファイバにおいて第2コアが大径の部分では第1コアも大径になる。このため、上記第1コアの断面積が大きいことで、第2コアが大径の部分においても大きな吸光係数が得られる。これにより、励起効率の向上が図られる。

【0018】加えて、信号光と励起光とをそれぞれ個別に光ファイバに入射させるため、該信号光と励起光とを合波する合波器を設けなくても、光増幅装置やファイバレーザ装置を構成することが可能になる。これにより損失を低減させることが可能になる。

【0019】こうして、本発明に係る光励起方法によると、光増幅装置又はファイバレーザ装置の高出力化が実現する。

【0020】請求項3記載の発明は、希土類元素がドーブされた第1コアと、該第1コアの周囲を覆いかつ上記希土類元素を励起する励起光が伝搬する第2コアとを有する光ファイバを備え、上記希土類元素の励起によって上記第1コア内を伝搬する信号光を増幅させる光増幅装置を対象とする。

【0021】そして、上記光ファイバの第2コアを、ファイバ長手方向の第1端から第2端に向かって先細に形成し、上記励起光を上記第2コアの大径側である上記光ファイバにおける第1端側の端面から上記第2コア内に入射させるように構成することを特定事項とするものである。

6

【0022】請求項3記載の発明によると、上記請求項1記載の発明と同様の作用効果が得られ、高出力な光増幅装置が構成される。

【0023】また、請求項4記載の発明は、上記請求項3記載の発明において、光ファイバに接続されて信号光を送送する信号光用ファイバと、複数の励起光源のそれぞれに接続されかつ該励起光源からの励起光をそれぞれ上記光ファイバまで伝送する複数の励起光用ファイバとを備えたものとする。

【0024】そして、上記信号光用ファイバの端面を、第2コアの大径側である上記光ファイバの第1端側の端面における第1コア部分に接続し、上記複数の励起光用ファイバを、上記信号光用ファイバを中心として当該信号光用ファイバの外周囲を取り囲むようにそれぞれ配設すると共に、その端面を、上記光ファイバの第1端側の端面における第2コア部分にそれぞれ接続することを特定事項とするものである。

【0025】請求項4記載の発明によると、信号光を送送させる信号光用ファイバ(上記光ファイバに対して信号光を入射させるファイバ、又は信号光を出射させるファイバ)の端面を、上記光ファイバにおける第1端側の端面の第1コア部分に接続することで、信号光用ファイバの第1コアと、上記光ファイバの第1コアとを互いに同軸に接続可能になる。一方、励起光を送送する複数の励起光用ファイバは、上記信号光用ファイバを中心として当該信号光用ファイバの外周囲を取り囲むようにそれぞれ配設されており、上記光ファイバの第1端側の端面において大径である第2コア部分にそれぞれ接続することが可能になる。このため、上記光ファイバへの信号光の入射又は出射、及び励起光の入射が空間光学系を利用せずに実現し、信号光等の光軸ずれが回避される。これと共に、複数の励起光源によって発光された励起光を、それぞれ複数の励起光用ファイバによって光ファイバの第2コア内に入射させることで励起入力の大パワー化が実現し、その結果、高出力な光増幅装置が構成される。

【0026】また、信号光と励起光とのそれぞれを、個別に光ファイバに入射させることになるため、該信号光と励起光とを合波する合波器を設けずに光増幅装置が構成される。これにより損失の低減化が図られる。

【0027】請求項5記載の発明は、光ファイバの第1コアを、ファイバ長手方向の第1端から第2端に向かって先細に形成し、信号光を上記第1コアの小径側である上記光ファイバにおける第2端側の端面から上記第1コア内に入射させるように構成することを特定事項とするものである。

【0028】請求項5記載の発明によると、上記請求項2記載の発明と同様の作用効果が得られる。

【0029】上記請求項5記載の発明においては、請求項6記載の如く、光ファイバにおける第2端側の端面に、該光ファイバの第1コア内に信号光を入射させるた

めの信号光入射用ファイバを融着して、上記信号光を上記信号光入射用ファイバを介して上記光ファイバにおける第2端側の端面から上記第1コア内に入射させるように構成してもよい。これにより、上記光ファイバに入射される信号光の光軸ずれが確実に防止される。

【0030】請求項7記載の発明は、希土類元素がドーブされた第1コアと、該第1コアの周囲を覆い上記希土類元素を励起させる励起光が伝搬する第2コアとを有する光ファイバを備え、該光ファイバをレーザ媒質として上記光ファイバの端面からレーザ発振光を出射するファイバレーザ装置を対象とし、上記光ファイバの第2コアを、ファイバ長手方向の第1端から第2端に向かって先細に形成し、上記励起光を上記第2コアの大径側である上記光ファイバにおける第1端側の端面から上記第2コア内に入射させるように構成することを特定事項とするものである。

【0031】請求項7記載の発明によると、上記請求項1記載の発明と同様の作用効果が得られ、高出力なファイバレーザ装置が構成される。また、請求項4記載の光増幅装置と同様に、励起光用ファイバを、上記光ファイバの第1端側の端面における第2コア部分に接続すれば、光ファイバへの励起光の入射を空間光学系とすることなく実現でき、より高出力なファイバレーザ装置が構成可能になる。

【0032】請求項8記載の発明は、希土類元素がドーブされた第1コアと、該第1コアの周囲を覆いかつ上記希土類元素を励起させる励起光が伝搬する第2コアとを備えた光ファイバを対象とする。

【0033】そして、上記第2コアを、ファイバ長手方向の第1端から第2端に向かって先細に形成することを特定事項とするものである。

【0034】請求項8記載の発明によると、上記請求項1に記載の光励起方法、請求項3に記載の光増幅装置、又は請求項7に記載のファイバレーザ装置に最適な光ファイバが構成される。

【0035】また、請求項9記載の如く、第1コアを、ファイバ長手方向の第1端から第2端に向かって先細に形成してもよい。これにより、請求項2に記載の光励起方法、又は請求項5に記載の光増幅装置に最適な光ファイバが構成される。

【0036】加えて、請求項10記載の如く、光ファイバの第1端側の端面における第2コアに対する第1コアの面積比と、該光ファイバの第2端側の端面における第2コアに対する第1コアの面積比とを、略同じに設定してもよい。つまり、第1コアと第2コアとのファイバ長手方向に対するテーパ割合を、略同じにしてもよい。

【0037】このような光ファイバは、テーパ状に（先細に）形成されていないコア（第1コア）及びクラッド（第2コア）からなる通常の光ファイバを製造するためのプリフォームと略同形状のプリフォームを作製すると

共に、このプリフォームの線引きの際に、線引き速度の制御、温度の制御又はプリフォームの送り速度の制御等の方法により線引きされているファイバ、すなわち第2コアの外径を調整すること等によって製造することが可能になる。つまり、例えば上記プリフォームの線引き速度を調整すれば、第1コアと第2コアとのテーパ割合は、自動的に略同じに設定される。これにより、上記光増幅装置又はファイバレーザ装置の高出力化が実現する光ファイバを容易に製造することができる。

10 【0038】

【発明の効果】以上説明したように、本発明における光励起方法、光増幅装置及びファイバレーザ装置、並びに光ファイバによれば、第2コアをファイバ長手方向の第1端から第2端に向かって先細に形成し、励起光を第2コアの大径側である光ファイバにおける第1端側の端面からこの第2コア内に入射させることにより、励起入力が高めることが可能になると共に、上記第2コア内をファイバ長手方向に伝搬する励起光のパワー密度を次第に高めて励起効率を向上させることができる。

20 【0039】また、第1コアもファイバ長手方向の長手方向の第1端から第2端に向かって先細に形成し、被増幅光（信号光）を第1コアの小径側である光ファイバにおける第2端側の端面からこの第1コア内に入射させることにより、この被増幅光を伝送する被増幅光入射用ファイバ（信号光入射用ファイバ）を、上記光ファイバの第2端側の端面に融着等によって接続させることができる。これにより、上記被増幅光を、光軸ずれを生じることなく安定して上記第1コア内に入射させることができる。また、上記被増幅光がファイバ長手方向に伝搬してそのパワーが増大するに伴い、上記光ファイバの第1コアの径が大径になるため、この光ファイバにおける非線形効果を抑制することができる。さらに、第2コアが大径（断面積が大）の部分では上記第1コアの断面積も大きいので、十分な吸光係数を得ることができる。加えて、合波器を設けなくても光増幅装置又はファイバレーザ装置を構成することができる。こうして、光増幅装置又はファイバレーザ装置を高出力化することができる。

30 【0040】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態を図面に基いて説明する。

40 【0041】＜第1実施形態＞図1は、本発明の第1実施形態に係る光増幅装置1を示し、このものは、光ファイバとしてのダブルクラッドファイバ2を備えていて、信号光入射用ファイバ31から入力（入射）された信号光を、このダブルクラッドファイバ2において増幅した後、信号光出射用ファイバ32から出射するように構成されている。

50 【0042】上記ダブルクラッドファイバ2は、上記信号光が伝搬する第1コアとしてのコア21と、このコア21の外周囲を覆い励起光が伝搬する第2コアとしての

9

第1クラッド22と、この第1クラッドの外周囲を覆う第2クラッド23とから構成されている。

【0043】上記コア21はシングルモードコア、又は、ほぼシングルモードのコアであって、希土類元素（例えばEr、Nd、Yb等）がドーブされたSiO₂によって形成されている。一方、第1クラッド22は、マルチモードコアであって、ほぼ純粋なSiO₂によって形成されている。また、上記クラッド23は、上記第1クラッド22よりも大幅に屈折率が低い材料によって形成されており、例えば屈折率を低下させるためのフッ素（F）がドーブされた紫外線硬化型樹脂により形成されている。

【0044】そして、上記第1クラッド22は、上記ダブルクラッドファイバ2における長手方向の第1端側の端面（同図における左側端面）においては、その径が375μmに設定されている一方、上記長手方向の第2端側の端面（同図における右側端面）においては、その径が125μmに設定されていて、上記ダブルクラッドファイバ2の長手方向の第1端から第2端に向かって径が縮小するテーパ状に形成されている。また、上記コア21も、上記第1クラッド22と同様に、上記ダブルクラッドファイバ2における長手方向の第1端側の端面（左側端面）においては、その径が15μmに設定されている一方、上記長手方向の第2端側の端面（右側端面）においては、その径が5μmに設定されていて、上記ダブルクラッドファイバ2の長手方向の第1端から第2端に向かって径が縮小するテーパ状に形成されている。このように、上記第1クラッド22の径は、上記ダブルクラッドファイバ2における長手方向の第1端から第2端に至るまでの間で1/3に縮小するように構成されていると共に、上記コア21の径も、上記ダブルクラッドファイバ2における長手方向の第1端から第2端に至るまでの間で1/3に縮小するように構成されている。このため、上記ダブルクラッドファイバ2の第1端側の端面における第1クラッド22に対するコア21の面積比（15μm²/375μm²）と、このダブルクラッドファイバ2の第2端側の端面における第1クラッド22に対するコア21の面積比（5μm²/175μm²）とは、略同じに設定されている。

【0045】上記信号光入射用ファイバ31はコア・クラッドからなる通常の通信用光ファイバであって、このものは、上記ダブルクラッドファイバ2における第2端側の端面のコア21の部分に、上記ダブルクラッドファイバ2と同軸となるように融着により接続されている

（尚、同図は光増幅装置の分解図を示しているため、ダブルクラッドファイバ2と信号光入射用ファイバ31とは互いに離れている）。この融着は、例えば上記ダブルクラッドファイバ2における第2端部の樹脂製の第2クラッド23を除去した上で行えばよい。上記信号光入射用ファイバ31のコアはシングルモードコアであって、

10

その径は、上記ダブルクラッドファイバ2の第2端側の端面におけるコア径と同じ5μmに設定されている。

【0046】一方、上記信号光出射用ファイバ32もコア・クラッドからなる通常の通信用光ファイバであって、このものは、上記ダブルクラッドファイバ2における第1端側の端面のコア21の部分に、上記ダブルクラッドファイバ2と同軸となるように融着により接続されている（尚、同図においては、ダブルクラッドファイバ2と信号光出射用ファイバ32とは互いに離れている）。

そして、上記信号光出射用ファイバ32のコア径は、上記ダブルクラッドファイバ2の第1端側の端面におけるコア径と同じ15μmに設定されている。この15μmというコア径は、シングルモード伝搬条件以上のコア径であるが、コア径がシングルモード伝搬条件を満たすコア径の3倍程度以下であれば、シングルモード伝搬している光は、マルチモード化することなくシングルモードのまま上記コア内を伝搬することが可能である。

【0047】すなわち、光ファイバはその長尺化に伴い、いわゆる長尺カットオフと呼ばれる現象が生じる。これは、光ファイバの実際のカットオフ波長（シングルモード化する実際の波長。以下、「長尺カットオフ波長」という）が、光ファイバの構造から理論的に算出される理論カットオフ波長よりも短いことに起因している。このため、上記長尺カットオフ波長を基準にコア径を設定すれば、シングルモード伝搬条件以上のコア径となるが、この光ファイバは実質的にシングルモード光ファイバとなる。このように、上記信号光出射用ファイバ32のコア径は、上記長尺カットオフ波長を基準にして設定されている。

【0048】上記信号光出射用ファイバ32の外周囲には、この信号光出射用ファイバ32を中心として当該信号光出射用ファイバ32を取り囲むように、6本の励起光用ファイバ4が配設されており、上記信号光出射用ファイバ32と励起光用ファイバ4とは互いに束ねられた状態にされている。そして、上記信号光出射用ファイバ32が、上述したように上記ダブルクラッドファイバ2の長手方向の第1端側の端面におけるコア21の部分に、互いに同軸となるように融着されている一方、各励起光用ファイバ4は、上記ダブルクラッドファイバ2の長手方向の第1端側端面における第1クラッド22の部分にそれぞれ融着されている。

【0049】上記各励起光用ファイバ4は、例えばレーザダイオードからなる6個の励起光源41に接続されており、この各励起光源41からの励起光を上記ダブルクラッドファイバ2まで伝送するものとなっている。この各励起光用ファイバ4は、マルチモードの励起光を伝搬するものであるため、そのコア径は、上記信号光入射用又は出射用ファイバ31、32のコア径よりも大幅に大きく、例えば100μm程度に設定されている。この励

、起効用ファイバはSiO₂製光ファイバにより構成してもよいし、クラッドを除去したPCF (Polymer Cladding Fiber) により構成してもよい。また、この励起光用ファイバ4の外径には特に制限はないが、上記信号光出射用ファイバ32の外径と同じくした方がこの信号光出射用ファイバ32と束ね易いため好ましい。具体的には125μmとすればよい。

【0050】尚、上記ダブルクラッドファイバ2を挟んだ両側には、光アイソレータ6、6がそれぞれ設けられており、信号光の伝搬方向を上記ダブルクラッドファイバ2の第2端側から第1端側（図面右側から左側）に規制している（同図の矢印参照）。

【0051】次に、上記光増幅装置1における光励起方法について説明すると、上述したように、信号光は信号光入射用ファイバ31から上記ダブルクラッドファイバ2の第2端側端面におけるコア21内に入射させる。これにより、上記信号光は、上記ダブルクラッドファイバ2のコア21内を長手方向に伝搬して、このダブルクラッドファイバ2の第1端側端面に接続された信号光出射用ファイバ32から出射される。

【0052】これに対し、励起光源41からの励起光は、励起光用ファイバ4を介して上記ダブルクラッドファイバ2の第1端側端面における第1クラッド22内に入射させる（同図の矢印参照）。これにより、この励起光はこのダブルクラッドファイバ2の第1クラッド22内を上記ダブルクラッドファイバ2の第1端側から第2端側に向かってファイバ長手方向に伝搬する。このとき、上記励起光によって、コア21にドーピングされた希土類元素が励起されて反転分布状態になり、その誘導放出によって上記信号光が増幅される。

【0053】このように、第1実施形態に係る光増幅装置1は、第1クラッド22がファイバ長手方向の第1端から第2端に向かって先細となったテーパ状に形成されたダブルクラッドファイバ2を備え、複数の励起光源41からの励起光をそれぞれ励起光用ファイバ4を介して、上記第1クラッド22が大径である上記ダブルクラッドファイバ2における第1端側の端面から上記第1クラッド22内に入射させるように構成されている。このため、空間光学系を用いることなく、簡易な構成で、上記第1クラッド22内への励起入力が可能になり、その結果、励起入力を高めることができる。

【0054】また、上記ダブルクラッドファイバ2の第1クラッド22内に入射された励起光は希土類元素を励起させることによって、この第1クラッド22内をファイバ長手方向に伝搬するに従ってパワーが次第に低下する。しかしながら、上記第1クラッド22は、励起光の入射側である第1端側からファイバ長手方向の第2端側に向かって先細に形成されているため、上記励起光のパワー密度は次第に高まることになる。こうして上記ダブルクラッドファイバ2の励起効率が向上する。

【0055】一方、信号光は、上記励起光の入射側とは逆側の端面であるダブルクラッドファイバ2における第2端側の端面から、このダブルクラッドファイバ2に融着された信号光入射用ファイバ31を介してコア21内に入射されるよう構成されている。このため、上記信号光を、光軸ずれを生じることなく安定して上記ダブルクラッドファイバ2に入射させることができる。また、信号光出射用ファイバ32も、上記ダブルクラッドファイバ2の第1端側の端面におけるコア21に融着されているため、上記信号光の出射側における光軸ずれも防止される。

【0056】また、上記信号光は、ファイバ長手方向に伝搬するに伴い増幅されて、次第にそのパワーが増大するが、上記信号光は、上記コア21の小径側から大径側に向かってファイバ長手方向に伝搬するため、信号光のパワーの増大に伴いコア径も大径になる。これにより、上記ダブルクラッドファイバ2における非線形効果を抑制することができる。

【0057】さらに、上記ダブルクラッドファイバ2は、コア21及び第1クラッド22が共にファイバ長手方向の第1端から第2端に向かって先細であるため、上記第1クラッド22が大径の部分ではコア21も大径になる。これにより、上記コア21の面積が大きいことで、第1クラッド22が大径の部分においても大きな吸光係数が得られる。

【0058】そして、上記光増幅装置1は、信号光と励起光とをそれぞれ個別にダブルクラッドファイバ2に入射させるように構成されているため、上記信号光と励起光とを合波する合波器を設けなくてもよい。これにより損失を低減させることができる。こうして本実施形態に係る光増幅装置1は高出力化することができる。

【0059】また、上記ダブルクラッドファイバ2は、その第1端側の端面における第1クラッド22に対するコア21の面積比と、その第2端側の端面における第1クラッド22に対するコア21の面積比とが略同じに設定されているため、その製造は以下のようにして行えばよい。

【0060】すなわち、コア及びクラッドを有する通常の光ファイバ（コア・クラッドがテーパ状に形成されていないもの）を製造するためのプリフォームと略同形状のプリフォームを、CVD法（Chemical Vapor Deposition method）、OVD法（Outside Vapor Deposition method）、VAD法（Vapor-phase Axial Deposition method）又はロッドインチューブ法等により作製する。このプリフォームは、上記ダブルクラッドファイバ2のコア21及び第1クラッド22を形成するものである。

【0061】次に、このプリフォームを線引きしてファイバ化するのであるが、このとき、線引き速度を調整する（次第に高速にする、又は次第に低速にする）ことで、線引き後のファイバにおいては、上記コア21と第

1 クラッド22とのファイバ長手方向に対するテーパ度合が自動的にほぼ同じになる。

【0062】そして、上記線引き加工したファイバの表面に、例えば紫外線硬化型樹脂液を塗布すると共に紫外線を照射することで、ダブルクラッドファイバ1の第2クラッド23を形成すれば、上記コア21及び第1クラッド22がファイバ長手方向の第1端から第2端に向かって先細となったテーパ状に形成されたダブルクラッドファイバ2が製造される。尚、上記第2クラッド23の形成工程は、この第2クラッド23を構成する材料に応じて適宜変更すればよい。

【0063】このように、コア21と第1クラッド22とのファイバ長手方向に対するテーパ度合が同じであることで、光増幅装置1の高出力化が実現するダブルクラッドファイバ2を容易に製造することができる。

【0064】＜第2実施形態＞図2は、第2実施形態に係るファイバレーザ装置7を概略的に示しており、このものは、上記ダブルクラッドファイバ2をレーザ媒質として、このダブルクラッドファイバ2を挟んだ両側に、所定の反射波長を有するミラー8、8を配設することで、ファブリペロー型のレーザ発振器を構成している。尚、ダブルクラッドファイバ2の構成は、上記第1実施形態とほぼ同様であるためその詳細な説明は省略する。

【0065】上記ミラー8、8としては、同図に示すように、例えばファイバグレーティングとしてもよいし、その他のミラーとしてもよい。

【0066】そして、このファイバレーザ装置7では、上記光増幅装置1と同様に、図示省略の励起光源からの励起光を、励起光用ファイバ4を介して上記ダブルクラッドファイバ2の第1端側端面における第1クラッド22内に入射させる。これにより、上記ダブルクラッドファイバ2を有するレーザ発振器においてレーザ発振がなされ、このダブルクラッドファイバ2に接続されたレーザ光出力用ファイバ91、92からレーザ発振光が出力される。尚、上記レーザ光出力用ファイバ91、92は、それぞれ、上記第1実施形態における信号光入射用ファイバ31及び信号光出射用ファイバ32と略同じものである。

【0067】ここで、上記ダブルクラッドファイバ2の両端面に接続されたレーザ光出力用ファイバ91、92からレーザ発振光を出力可能に構成した場合、上記ダブルクラッドファイバ2におけるファイバ長手方向の第2端側の端面では、そのコア径がシングルモード伝搬条件を満たした小径（ $5\mu\text{m}$ ）であるため、シングルモードのレーザ発振光が出力されるようになる。一方、上記ダブルクラッドファイバ2におけるファイバ長手方向の第1端側の端面では、そのコア径がシングルモード伝搬条件を満たしていない大径（ $15\mu\text{m}$ ）であるため、マルチモードのレーザ発振光も出力可能になる（同図の矢印参照）。従って、上記ダブルクラッドファイバ2のシン

グルモードコア側の端部をスペーシャルフィルタとして用い、マルチモードコア側の端部からシングルモード出力を得ることも可能である。尚、上記ダブルクラッドファイバ2における何れか一方の端部からのみ、レーザ光を出力可能に構成してもよいことは言うまでもない。

【0068】＜他の実施形態＞尚、本発明は上記実施形態に限定されるものではなく、その他種々の実施形態を包含するものである。すなわち、上記実施形態では、ダブルクラッドファイバ2の第1端側の端部に、信号光出射用ファイバ32（レーザ光出力用ファイバ92）及び励起光用ファイバ4のそれぞれを融着させているが、上記ダブルクラッドファイバ2と、信号光出射用ファイバ32及び励起光用ファイバ4との断面積が大きく異なるため、熱容量の相異から融着が困難になる虞がある。

【0069】この場合、例えば図3に示すように、上記ダブルクラッドファイバ2の端面が鉛直方向に対して θ だけ傾いた面となるように、上記ダブルクラッドファイバ2の端部を斜めに研磨すると共に、同じく信号光出射用ファイバ32及び励起光用ファイバ4の端部も斜めに研磨して、これらを互いに突き合わせるようにしてもよい。これにより、上記各ファイバ2、32、4の端部における光の反射を防止することができ、融着をしなくてもダブルクラッドファイバ2と信号光出射用ファイバ32及び励起光用ファイバ4とを接続させることが可能になる。尚、上記斜め研磨の角度 θ としては、 $12\sim 15^\circ$ 程度にするのが好ましい。

【0070】また、上記実施形態では、ダブルクラッドファイバ2のコア21を、シングルモードコア、又はほぼシングルモードのコア21としているが、マルチモードコアに構成してもよい。この場合、マルチモード用光増幅装置やファイバレーザ装置等に利用することができる。

【0071】さらに、上記実施形態では、ダブルクラッドファイバ2のコア21がファイバ長手方向の第1端から第2端に向かって先細に形成されているが、上記コア21は、先細でなくてもよい。

【0072】加えて、上記実施形態における上記信号光出射用ファイバ32（レーザ光出力用ファイバ92）はコア径が $15\mu\text{m}$ であって、シングルモード伝搬条件を満たさない光ファイバであるが、例えば上記信号光出射用ファイバ32等のコアを、ダブルクラッドファイバ2との接続端面から離れるにつれて先細となるように形成して、そのコア径がシングルモード伝搬条件を満たす径（ $10\mu\text{m}$ 以下程度）に変化するようにしてもよい。

【0073】さらに、上記実施形態では、光ファイバとして、コア21（第1コア）、第1クラッド22（第2コア）、及び第2クラッド23からなるダブルクラッドファイバ2としているが、本発明に係る光励起方法、光増幅装置及びファイバレーザ装置に用いられる光ファイバは、少なくとも希土類元素がドープされた第1コアと

15

励起光が伝搬する第2コアとを有する光ファイバであれば、ダブルクラッドファイバに限るものではない。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1実施形態に係る光増幅装置を分解して示す分解図である。

【図2】第2実施形態に係るファイバレーザ装置の構成を示す概略図である。

【図3】他の実施形態に係るダブルクラッドファイバと、光ファイバとの接続部分を示す側面図である。

【符号の説明】

- 1 光増幅装置
2 ダブルクラッドファイバ（光ファイバ）*

* 4

7

2 1

2 2

2 3

3 1

バ)

3 2

バ)

10 4 1

9 1, 9 2

16

励起光用ファイバ

ファイバレーザ装置

コア（第1コア）

第1クラッド（第2コア）

第2クラッド

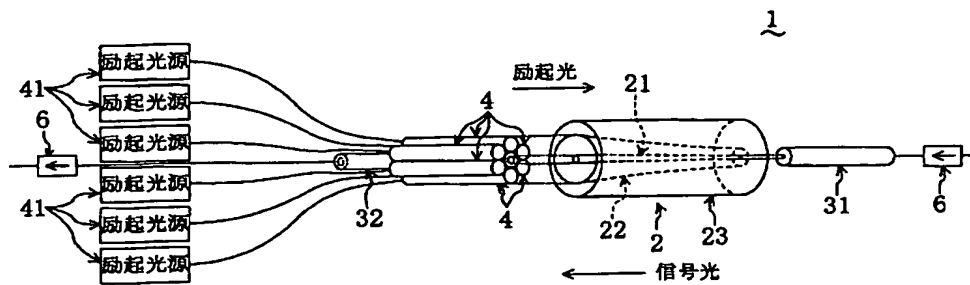
信号光入射用ファイバ（信号光用ファイバ）

信号光出射用ファイバ（信号光用ファイバ）

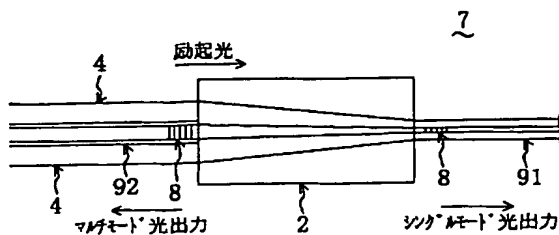
励起光源

レーザ光出力用ファイバ

【図1】



【図2】



【図3】

